

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: 11340508 A

(43) Date of publication of application: 10 . 12 . 99

(51) Int. Cl.
H01L 33/00
H01L 21/205
H01S 3/18

(21) Application number: 10146431

(22) Date of filing: 28 . 05 . 98

(71) Applicant: NICHIA CHEM IND LTD

(72) Inventor: CHIYOUCHO KAZUYUKI
NAKAMURA SHUJI

(54) METHOD FOR GROWING NITRIDE
SEMICONDUCTOR AND NITRIDE
SEMICONDUCTOR ELEMENT

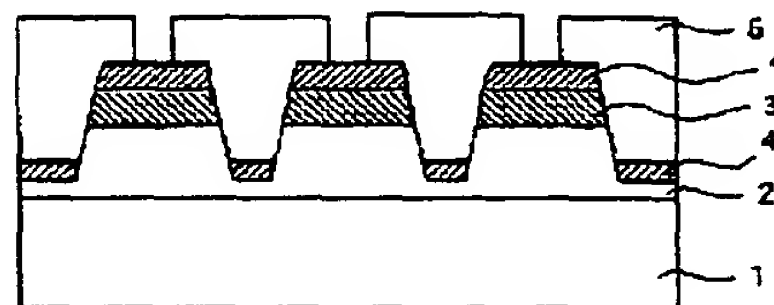
COPYRIGHT: (C)1999,JPO

(57) Abstract:

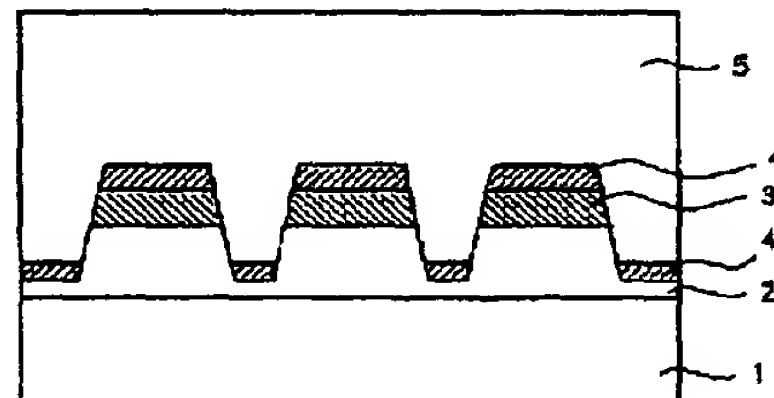
PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a method for growing a nitride semiconductor which is to become a substrate and contains less crystal defects and an element, having a new structure using a nitride semiconductor substrate containing less crystal defects.

SOLUTION: Normal mesa-shaped projecting sections are formed under a first protective film 3 formed on a first nitride semiconductor 2 grown on a heterogeneous substrate 1, and the vertical grown surface of the first nitride semiconductor 2 is covered well by forming a second protective film 4 on the top and bottom sections of the projecting sections having the first protective film 3 by forming the second protective film 4 over the whole surface of the nitride semiconductor 2 which has projecting sections and removing the protective film 4 from the side faces of the projecting sections. Thereafter, a second nitride semiconductor 5 is grown on the surface of the first nitride semiconductor 2 exposed on the side faces of the projecting sections.

(a)



(b)



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-340508

(43) 公開日 平成11年(1999)12月10日

(51) Int.Cl.⁸

識別記号

F I

H 0 1 L 33/00

H 0 1 L 33/00

C

21/205

21/205

H 0 1 S 3/18

H 0 1 S 3/18

審査請求 未請求 請求項の数 2 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願平10-146431

(22) 出願日 平成10年(1998) 5 月28日

(71) 出願人 000226057

日亜化学工業株式会社

徳島県阿南市上中町岡491番地100

(72) 発明者 蝶々 一幸

徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜化学工業株式会社内

(72) 発明者 中村 修二

徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜化学工業株式会社内

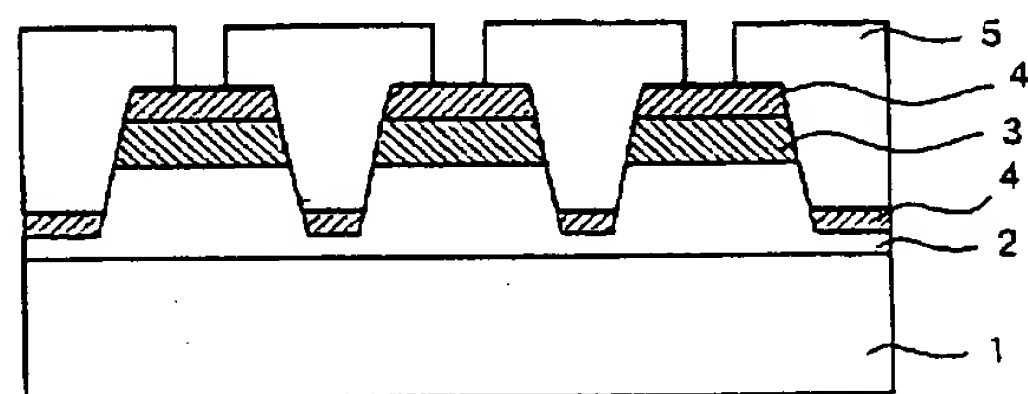
(54) 【発明の名称】 窒化物半導体の成長方法及び窒化物半導体素子

(57) 【要約】

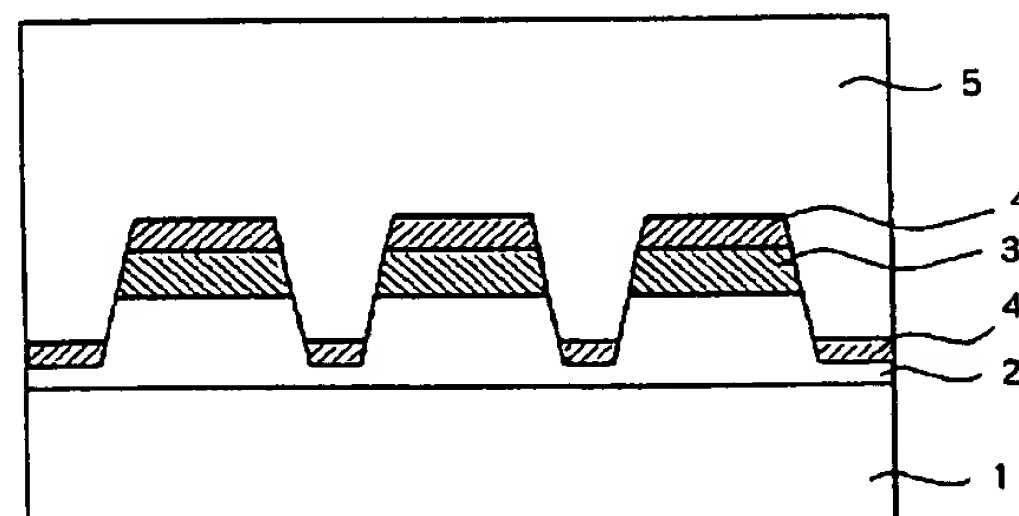
【課題】 基板となる結晶欠陥の少ない窒化物半導体の成長方法と、結晶欠陥の少ない窒化物半導体基板を有する新規な構造の素子を提供することにある。

【解決手段】 異種基板 1 上に成長させた第 1 の窒化物半導体 2 上に形成された第 1 の保護膜 3 下部に順メサ形状の凸部を形成し、この凸部を有する第 1 の窒化物半導体 2 上全面に第 2 の保護膜 4 を形成し凸部側面の第 2 の保護膜 4 を除去することで第 1 の保護膜 3 を有する凸部上部及び凸部底部に第 2 の保護膜を形成させ第 1 の窒化物半導体 2 の縦方向の成長面を良好に覆い、その後、第 2 の窒化物半導体 5 を凸部側面の露出している第 1 の窒化物半導体 2 面から成長させる。

(a)



(b)



【特許請求の範囲】

【請求項1】 窒化物半導体と異なる材料よりなる異種基板の上に、第1の窒化物半導体を成長させる第1の工程と、

第1の工程後、前記第1の窒化物半導体の表面に部分的に第1の保護膜を形成する第2の工程と、

第2の工程後、前記第1の保護膜の形成されていない部分の第1の窒化物半導体をエッチングにより除去し保護膜下部に順メサ形状の凸部を形成する第3の工程と、

第3の工程後、第1の窒化物半導体の上から全面に第2の保護膜を形成し、その後、エッチングにより、第1の窒化物半導体の凸部側面に形成された第2の保護膜を除去することにより、第1の窒化物半導体の平面部のみに第2の保護膜を形成する第4の工程と、

第4の工程後、前記第1の窒化物半導体の側面から第2の窒化物半導体を成長させる第5の工程とを含むことを特徴とする窒化物半導体の成長方法。

【請求項2】 前記窒化物半導体の成長方法で得られる第2の窒化物半導体の上に、素子構造となる少なくともn型及びp型の窒化物半導体が形成されていることを特徴とする窒化物半導体素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は窒化物半導体 ($\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$, $0 \leq x$, $0 \leq y$, $x+y \leq 1$) の成長方法に係り、特に窒化物半導体よりなる基板の成長方法に関する。また、本発明は、前記窒化物半導体よりなる基板を用い発光ダイオード、レーザダイオード等の発光素子、太陽電池、光センサー等の受光素子、あるいはFET、HEMTなどのトランジスタなどの電子デバイスに使用される窒化物半導体 ($\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$, $0 \leq x$, $0 \leq y$, $x+y \leq 1$) よりなる窒化物半導体素子に関する。

【0002】

【従来の技術】近年、窒化物半導体からなる青色、青緑色の発光ダイオード、レーザダイオードが実用化されたり実用可能になっている。このような窒化物半導体素子は、現在のところ窒化物半導体と完全に格子整合する基板が未だ開発されていないために、格子定数が異なるサファイアの上に窒化物半導体層を強制的に成長させて形成されている。そのためサファイア基板上に成長された窒化物半導体の結晶には、格子整合した基板上に成長された赤色レーザ素子等と比べると、非常に多くの結晶欠陥が発生する。

【0003】本発明者等は、結晶欠陥を大幅に低減できる窒化物半導体の結晶成長方法として、窒化物半導体と異なる異種基板上にGaN基板を形成し、そのGaN基板上に素子構造を形成することにより、波長約400nm、光出力2mWで連続発振約1万時間を達成できる窒化物半導体レーザ素子などを開示している（例えば「I

nGaN系多重量子井戸構造半導体レーザの現状」, 第58回応用物理学会学術講演会, 講演番号4aZC-2, 1997年10月, "Present Status of InGaN/AlGaN based Laser Diodes", The Second International Conference on Nitride Semiconductors (ICNS'97), 講演番号S-1, 1997年10月などに記載されている。)。この方法は窒化物半導体を保護膜上で横方向に成長させることから、一般にラテラルオーバーグロウス (lateral over growth: LOG、ラテラル成長) と呼ばれている。

【0004】上記の結晶成長方法は、サファイア基板上に、従来の結晶欠陥が非常に多いGaN層を薄く成長させ、その上にSiO₂よりなる保護膜を部分的に形成し、その保護膜の上からハライド気相成長法 (HVPE)、有機金属気相成長法 (MOVPE) 等の気相成長法により、GaNの横方向への成長を利用し、再度GaN層を成長させることにより結晶欠陥の少ないGaN基板 (膜厚10μm) を形成することができる。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記のラテラル成長は、従来の異種基板上に成長させた窒化物半導体の結晶欠陥の数に比べ、結晶欠陥を大幅に低減することができるが、LED素子、LD素子、受光素子等の数々の電子デバイスに使用される窒化物半導体素子の更なる信頼性の向上や素子特性の向上のために、前記電子デバイスに使用される窒化物半導体素子を作製する際に用いられる窒化物半導体の基板として、さらに結晶欠陥の少ない窒化物半導体基板を得ることが望まれている。結晶欠陥のより少ない窒化物半導体基板上に素子構造を形成する窒化物半導体を形成すれば、結晶欠陥の少ない結晶性の良好な素子を得ることができ、従来実現されていなかった素子が実現できるようになる。

【0006】そこで、本発明の目的は、結晶欠陥のより少ない結晶性のより良好な窒化物半導体の成長方法を提供することにある。具体的には基板となる結晶欠陥の少ない窒化物半導体の成長方法と、得られた窒化物半導体の基板上に素子構造となる窒化物半導体を形成した新規な構造の窒化物半導体素子を提供することである。

【0007】

【課題を解決するための手段】即ち、本発明の目的は、以下の(1)～(2)の本発明の構成によって達成することができる。

(1) 窒化物半導体と異なる材料よりなる異種基板の上に、第1の窒化物半導体を成長させる第1の工程と、第1の工程後、前記第1の窒化物半導体の表面に部分的に第1の保護膜を形成する第2の工程と、第2の工程後、前記第1の保護膜の形成されていない部分の第1の窒化物半導体をエッチングにより除去し保護膜下部に順

3

メサ形状の凸部を形成する第3の工程と、第3の工程後、第1の窒化物半導体の上から全面に第2の保護膜を形成し、その後、エッチングにより、第1の窒化物半導体の凸部側面に形成された第2の保護膜を除去することにより、第1の窒化物半導体の平面部のみに第2の保護膜を形成する第4の工程と、第4の工程後、前記第1の窒化物半導体の側面から第2の窒化物半導体を成長させる第5の工程とを含むことを特徴とする窒化物半導体の成長方法。

(2) 前記窒化物半導体の成長方法で得られる第2の窒化物半導体上に、素子構造となる少なくともn型及びp型の窒化物半導体が形成されていることを特徴とする窒化物半導体素子。

【0008】つまり、本発明の成長方法は、窒化物半導体の縦方向の成長を一旦抑え横方向にのみ成長させた後に横方向に加えて縦方向にも成長させる方法を良好に行うために、第1の窒化物半導体の第1の保護膜の下部に順メサ形状の凸部を形成し、この凸部を有する第1の窒化物半導体の平面部（凸部上部及び凸部底部）のみに第2の保護膜を形成することにより、窒化物半導体の縦方向の成長を良好に抑制することができ、凸部側面から成長させる第2の窒化物半導体の成長中に、縦方向へ転位する結晶欠陥を非常に良好に抑制することができる。これによって、第2の窒化物半導体の表面に現れる結晶欠陥の数が著しく低減し、良好な窒化物半導体基板となる。

【0009】本発明者等は、特願平9-277448号明細書に、異種基板上に成長させた窒化物半導体に段差を形成し段差上面と段差の底面に保護膜を形成して新たに窒化物半導体を成長させることにより、窒化物半導体の縦方向の成長を一旦止めて一時的に横方向の成長のみとして窒化物半導体を厚膜に成長させることにより、結晶欠陥の著しく少ない窒化物半導体の成長方法を提案している。しかしながら、上記特願平9-277448号明細書に記載の成長方法では、窒化物半導体の縦方向の成長を抑えるために保護膜を形成したにもかかわらず、窒化物半導体の縦方向の成長と共に縦方向に転位していると思われる結晶欠陥が、透過型電子顕微鏡観測などによると、わずかではあるが発見される場合が生じることがわかった。このように窒化物半導体の縦方向の成長を一時的ではあるが十分にそして良好に止めることができないければ、結晶欠陥を十分に低減しにくくなる。

【0010】これに対し、本発明者等は、この結晶欠陥の縦方向の転位の抑制が不十分となる原因は、恐らく窒化物半導体の縦方向の成長を一旦止めるために形成された保護膜が、十分に凸部上部及び底部を覆っていない場合が生じているのではないかと考察した。そして、更に検討した結果、凸部上部に形成された保護膜と窒化物半導体との境目が、凹部側面の保護膜を除去する際に不必要なエッチングを受けたと思われる、縦方向に成長可能

4

な成長面が凸部上部に形成されている場合があることが確認された。更に凸部側面の保護膜を除去する際に、凸部底部の端部がエッチングされたり、又は凸部底部の端部に保護膜が形成されにくかったりして、凸部底部が十分に保護膜で覆われていない場合があることがわかった。

【0011】そこで、本発明者等は、上記の如く、第1の窒化物半導体に形成されている凸部を順メサ形状とし、更に第1の保護膜が形成された上から、第2の保護膜を形成し、その後に凸部側面の第2の保護膜を除去することにより、第2の窒化物半導体の成長中に縦方向に転位する結晶欠陥の発生を良好に防止することができ、結晶欠陥のほとんどない良好な第2の窒化物半導体を再現性良く得ることができる。つまり、順メサ形状とすることで凸部側面に形成されている第2の保護膜を除去し易くなり、また順メサ形状の凸部上部に第1の保護膜を形成した状態で第2の保護膜を形成することで凸部上部を保護膜で良好に覆うことができ、これらのことから凸部上部での第1の保護膜と第1の窒化物半導体との境目で生じる場合のある不要なエッチングを良好に防止できる。更にまた、凸部を順メサ形状とすることで、凸部底部への第2の保護膜の形成がし易くなり、凸部底部を十分に覆うことができる。この結果、凸部上部及び底部に形成される第1の保護膜及び第2の保護膜が、窒化物半導体の縦方向の成長面を良好に覆うことができ、縦方向に転位する結晶欠陥の発生を非常に良好に抑制できると考えられる。

【0012】また、本発明の窒化物半導体素子は、本発明の成長方法により得られる結晶欠陥のほとんどない結晶性の良好な第2の窒化物半導体を窒化物半導体基板として作製されると、第2の窒化物半導体上に積層成長される素子構造となる窒化物半導体も同様に、結晶欠陥が少なく結晶性が良好となり、窒化物半導体素子の結晶欠陥による劣化を著しく防止できライフ時間などが向上し、また、LED及びLDでは逆耐圧が著しく上昇し、寿命特性の良好な窒化物半導体素子を提供することが可能となる。以下、明細書内において、第2の窒化物半導体を単に窒化物半導体基板と言う場合がある。

【0013】また、本発明において、第2の窒化物半導体表面の結晶欠陥密度は、表面透過型電子顕微鏡観察によると、 1×10^1 個/cm²以下となり、好ましい条件においては 5×10^6 個/cm²以下、さらに好ましい条件においては 1×10^6 個/cm²以下、最も好ましい条件においては 1×10^5 個/cm²以下であることが望ましい。

【0014】

【発明の実施の形態】以下、図を用いて本発明を更に詳細に説明する。図1～図5は、本発明の窒化物半導体の成長方法の一実施の形態を段階的に示した模式的断面図である。

【0015】本発明の窒化物半導体の成長方法の一実施

の形態として、図1の第1の工程において、異種基板1上に、第1の窒化物半導体2を成長させ、図2の第2の工程において、第1の窒化物半導体の表面に部分的に第1の保護膜を形成させ、図3の第3の工程において、第1の保護膜3の形成されていない部分の第1の窒化物半導体2をエッチングにより除去し、第1の保護膜3下部に順メサ形状の凸部を形成させ、図4〔(a) (b)〕の第4の工程において、凸部を形成した第1の窒化物半導体2の上から全面に第2の保護膜4を形成し〔図4

(a)〕、その後、エッチングにより、第1の窒化物半導体2の凸部側面から第2の窒化物半導体5が成長可能なように、第1の窒化物半導体2の凸部側面に形成された第2の保護膜4を除去することにより、第1の窒化物半導体2の平面部(凸部の上部及び底部)のみに第2の保護膜4を形成し〔図4 (b)〕、図5〔(a)

(b)〕の第5の工程において、第4の工程で第2の保護膜4を除去して露出されている第1の窒化物半導体2の凸部側面から第2の窒化物半導体5を成長させ厚膜の第2の窒化物半導体5を得ることができる。

【0016】以下に上記各工程ごとに図を用いて更に詳細に説明する。図1は異種基板1上に、第1の窒化物半導体2を成長させる第1の工程を行った模式的段面図である。この第1の工程において、用いることのできる異種基板としては、例えば、サファイアC面その他、R面、A面を主面とするサファイア、スピネル(MgAl₂O₄)のような絶縁性基板、SiC(6H、4H、3Cを含む)、ZnS、ZnO、GaAs、Si、及び窒化物半導体と格子整合する酸化物基板等、従来知られている窒化物半導体と異なる基板材料を用いることができる。好ましい異種基板としては、サファイア、スピネルが挙げられる。

【0017】また、第1の工程において、異種基板1上に第1の窒化物半導体2を成長させる前に、異種基板1上にバッファ層(図示されていない)を形成してもよい。バッファ層としては、AlN、GaN、AlGa_{0.5}N、InGa_{0.5}N等が用いられる。バッファ層は、900℃以下300℃以上の温度で、膜厚0.5μm~100nmで成長される。このように異種基板1上にバッファ層を900℃以下の温度で形成すると、異種基板1と第1の窒化物半導体2との格子定数不正を緩和し、第1の窒化物半導体2の結晶欠陥が少なくなる傾向にある。

【0018】第1の工程において、異種基板1上に形成される第1の窒化物半導体2としては、アンドープ(不純物をドーブしない状態、undoped)のGaN、Si、Ge、及びS等のn型不純物をドーブしたGaNを用いることができる。第1の窒化物半導体2は、高温、具体的には900℃~1100℃、好ましくは1050℃で異種基板1上に成長される。第1の窒化物半導体2の膜厚は特に限定しないが、第3の工程で形成される凸部の露

出している側面が、第4の工程で第2の保護膜4を形成した後に、第5の工程で第2の窒化物半導体5を成長可能な長さがあればよい。従って、第1の窒化物半導体2の膜厚は、第2の保護膜4の膜厚と露出する凸部側面の長さとを考慮して適宜調整される。第1の窒化物半導体2の膜厚として例えば、100nm以上、好ましくは1~10μm程度、好ましくは1~5μmの膜厚で形成することが望ましい。また、第2の保護膜4を形成後に凸部の露出している側面の長さが、0.5μm以上であると、第2の窒化物半導体5が成長し易くなり好ましい。

【0019】次に、図2は異種基板1上に成長させた第1の窒化物半導体2の表面に部分的に第1の保護膜3を形成する第2の工程を行った模式的断面図である。第2の工程において、部分的に第1の保護膜3を形成するとは、次の第3の工程で、第1の保護膜3が形成されていない部分の第1の窒化物半導体2を除去し第1の窒化物半導体2の側面を露出できる形状であれば特に限定されず、いずれの形状で形成されてもよい。第1の保護膜3の形状としては、例えばランダム状、ストライプ状、基盤目状、ドット状等が挙げられる。第2の工程で形成される第1の保護膜3としては、保護膜表面に窒化物半導体が成長しないか、若しくは成長しにくい性質を有する材料を用いて形成される。保護膜の材料として、例えば酸化ケイ素(SiO₂)、酸化チタン(TiO₂)、酸化ジルコニウム(ZrO₂)等の酸化物、窒化ケイ素(Si₃N₄)等の窒化物、またこれらの多層膜その他、1200℃以上の融点を有する金属等をあげることができる。これらの保護膜材料は、窒化物半導体の成長温度600℃~1100℃の温度にも耐え、その表面に窒化物半導体が成長しないか、成長しにくい性質を有している。

【0020】保護膜材料を窒化物半導体表面に形成するには、例えば蒸着、スパッタ、CVD等の気相製膜技術を用いることができる。具体的には、例えば、第1の工程で成長させた第1の窒化物半導体2上に保護膜材料を上記蒸着などの気相製膜技術により形成した後、その上にレジスト膜を形成しストライプや基盤目などのパターンを転写して、露光、現像を行うことにより、第1の窒化物半導体2に部分的に第1の保護膜3を形成することができる。

【0021】第1の保護膜をストライプとして、次の第3の工程で第1の窒化物半導体2の第1の保護膜下部に凸部を形成する場合、ストライプの形状としては、例えばストライプ幅を5~20μm、ストライプ間隔を2~10μmのものを形成することができる。第1の保護膜の形状をストライプとして凹凸が形成されていると、窒化物半導体の横方向への成長の制御の点で好ましい。また、第1の保護膜3の膜厚は、特に限定されないが、例えば保護膜の形成時間や第2の窒化物半導体5の成長のし易さなどを考慮して、1μm以下、好ましくは0.5

μm 以下、より好ましくは $0.01\mu\text{m}$ 以下である。膜厚の下限は特に限定されないが、凸部上部を第1の保護膜3が覆うことができる程度の膜厚であればよい。

【0022】次に、図3は第1の保護膜3の形成されていない部分の第1の窒化物半導体2をエッチングにより除去し、第1の窒化物半導体2の第1の保護膜3の下部に順メサ形状の凸部を形成する第3の工程を行った模式的断面図である。第3の工程において、第1の窒化物半導体2の第1の保護膜3下部に形成された凸部は、テーパエッチングされることにより、図3に示すように断面

から見ると、テーパ角を有する順メサ形状となっている。第3の工程でのエッチングは、いずれの装置を用いて行われてもよく、少なくともテーパ角を有してエッチングできればよい。

【0023】第3の工程において窒化物半導体をエッチングする方法には、ウェットエッチング、ドライエッチング等の方法があり、平滑な面を形成するには、好ましくはドライエッチングを用いる。ドライエッチングには、例えば反応性イオンエッチング(RIE)、反応性イオンビームエッチング(RIBE)、電子サイクロトロンエッチング(ECR)、イオンビームエッチング等の装置があり、いずれもエッチングガスを適宜選択することにより、窒化物半導体をエッチングしてできる。例えば、本出願人が先に出願した特開平8-17803号公報記載の窒化物半導体の具体的なエッチング手段を用いることができる。

【0024】第1の窒化物半導体2の第1の保護膜3下部に設けられた凸部は、第1の窒化物半導体2の途中まで、又は異種基板1に達する深さで形成される。この凸部の深さは、第1の窒化物半導体2の膜厚や、次の第4の工程で凸部底部に形成される第2の保護膜4の膜厚等にも左右される値であり、第1の窒化物半導体2の露出された凸部側面から横方向に成長する第2の窒化物半導体5が成長し易くなるように、エッチング量を調整して凸部の深さが適宜調整される。例えば第2の保護膜4を凸部底部に形成した後露出されている凸部側面の長さが $0.5\mu\text{m}$ 以上であると第2の窒化物半導体5が成長し易くなるので、凸部側面の露出された長さが $0.5\mu\text{m}$ 以上となるように、エッチング量を調整して凸部の深さが調整されることが好ましい。また、凸部の底部が第1の窒化物半導体2であると、凸部底部に形成される第2の保護膜4に熱によるピンホールの発生が生じた場合でも、異種基板面に窒化物半導体が形成するより、第1の窒化物半導体に窒化物半導体が形成する方が結晶欠陥の発生が少なくなると考えられるので好ましい。以上のように、第3の工程で形成された凸部の断面の形状が順メサ形状であると、第4の工程で凸部側面の第2の保護膜を除去し易くなり、更に凸部底部に第2の保護膜4を形成し易くなり好ましい。

【0025】次に、図4は、第1の保護膜3下部に凸部

を形成した第1の窒化物半導体2の上から全面に第2の保護膜4となる保護膜材料を形成し、その後、第1の窒化物半導体2の凸部側面から第2の窒化物半導体が成長可能なように、エッチングにより第1の窒化物半導体2の凸部側面に形成された第2の保護膜を除去することにより第1の窒化物半導体2の平面部、即ち凸部上部及び底部にそれぞれ第2の保護膜4を形成する第4の工程を行った模式的断面図である。第4の工程において、第2の保護膜4となる保護膜材料は、前記第1の保護膜3と同様のものを用いることができ、また、第2の保護膜4となる保護膜材料を第1の窒化物半導体2上に形成する方法としては、第1の保護膜3を第1の窒化物半導体2上に形成する方法と同様に行うことができる。また、第1の保護膜3と第2の保護膜4の材料は同一でも異なってもよい。

【0026】第4の工程において、まず、第2の保護膜4となる保護膜材料は、第1の保護膜3下部に凸部を形成された第1の窒化物半導体2上の全面に形成されるので、図4(a)のように、凸部の上部、底部及び側面に形成される。このように第1の窒化物半導体2上の全面に形成された第2の保護膜4は、次の第5の工程で成長させる第2の窒化物半導体5の成長が第1の窒化物半導体2の露出された凸部側面から実質的に全て横方向の成長から始められるように、凸部上部及び底部の第2の保護膜4を残し、凸部側面に形成された第2の保護膜4を除去して第1の窒化物半導体2の凸部側面のみを露出させる。凸部側面の第2の保護膜4を除去する方法としては、等方性エッチングであり、等方性エッチングできるエッチング方法であればいずれでも良く、例えば、バレル型の電極をもった装置により CF_4 と O_2 ガスによるドライエッチングなどが挙げられる。

【0027】第4の工程において、第1の保護膜3を凸部に形成させたまま、第2の保護膜4を形成すると、凸部側面の第2の保護膜4を除去する際、凸部上部の第1の保護膜3と第1の窒化物半導体2との界面で生じる場合のある不要なエッチングを防止でき好ましい。このように、凸部に第1の保護膜と第2の保護膜が積層形成されているので、凸部上部の保護膜の膜厚が厚膜となり不要なエッチングを防止できると考えられる。また、保護膜を比較的薄く形成した場合でも、不要なエッチングを良好に防止できるのは、順メサ形状の凸部上部の第1の保護膜3と第1の窒化物半導体2との界面を第2の保護膜4が良好に覆い、界面でのエッチングを防止していると考えられる。また、このような不要なエッチングの防止は、凸部上部に第1の保護膜3と第2の保護膜4とを積層形成することと、前記第3の工程で形成される凸部を順メサ形状とすることにより、相乗的に作用し良好な結果が得られると考えられる。このように本発明の成長方法により不要なエッチングが防止できるので、第5の工程で第2の窒化物半導体5の縦方向への成長を抑制

し、第2の窒化物半導体5の成長の際に、縦方向に転位する結晶欠陥の発生を極めて良好に防止することができる。また、第4の工程において等方性エッチングを行う装置としては、特に限定されないが、例えばアッシング装置により行うことができる。

【0028】第4の工程において、図4の(a)に示されるように凸部上部、底部、及び側面に形成され、その後、等方性エッチングにより、凸部側面の第1の窒化物半導体2が露出するように第2の保護膜4を除去する際に、凸部上部及び底部にそれぞれ形成されている第2の保護膜4も均一にエッチングされる。しかし、第2の保護膜4を蒸着などで形成する際に、凹部側面の第2の保護膜4の膜厚に対し、凸部上部及び底部の第2の保護膜4の膜厚が厚く形成されるので、第4の工程で行われる等方性エッチングを行っても、凸部上部と底部には第2の保護膜4が残る。第2の保護膜4の膜厚は、特に限定されるものではないが、凸部底部に第2の保護膜4が形成されても、露出している凸部側面から第2の窒化物半導体5が成長可能なように、第3の工程で形成される凸部の深さや第4の工程で等方性エッチングによりエッチングされる量などを考慮して適宜調整される。例えば、凸部上部及び底部に形成される第2の保護膜4の膜厚が、等方性エッチング後に、 $0.2\mu\text{m}$ 以上であると、熱によるピンホールの発生の防止、前記した凸部上部に第1の窒化物半導体2と第1の保護膜3との境目で生じる不要なエッチングの防止、及び窒化物半導体の縦方向に成長可能な面を良好に覆うことができるなどの点で好ましい。また第2の保護膜4の膜厚の上限は、前記の如く限定されず、第2の窒化物半導体5が成長可能な面として凸部側面が露出する程度の膜厚であればよく、好ましくは露出している凸部側面の長さが $0.5\mu\text{m}$ 以上であると第2の窒化物半導体5が成長し易くなるので、凸部側面の長さが $0.5\mu\text{m}$ 以上露出されるように調整される。

【0029】次に、図5[(a)(b)]は、エッチングにより露出された第1の窒化物半導体2の凸部側面から第2の窒化物半導体5を成長させる第5の工程を行った模式的断面図である。第5の工程においては、前記第1～第4の工程を経ることで、図4(b)に示すように、特定の箇所に第1の保護膜3及び第2の保護膜4を形成し、第2の窒化物半導体5が成長可能な部分を、第1の窒化物半導体2の凸部側面のみとし、第1の窒化物半導体2の凸部側面から第2の窒化物半導体5が選択的に横方向に成長し始める。そして、成長を続けるうちに、第2の窒化物半導体5が横方向の成長に加え縦方向にも成長をはじめ[図5(a)]、窒化物半導体が成長しにくい保護膜上にあたかも成長したかのように、第2の窒化物半導体5が第1の保護膜3及び第2の保護膜4を覆い成長を続け、そして図5(b)のように隣接している第2の窒化物半導体5同士でつながる。その結果、

図5(b)に示すように、第2の窒化物半導体5があたかも第1の保護膜3及び第2の保護膜4上に成長したかのような状態となる。このように成長初期に成長方向を特定された第2の窒化物半導体5は、厚膜に成長させても、結晶欠陥の極めて少ない非常に良好な結晶性を有する。第2の窒化物半導体5としては、前記第1の窒化物半導体2と同様のものを用いることができる。

【0030】また、第2の窒化物半導体5は、この上に素子構造となる窒化物半導体を成長させるための基板(窒化物半導体基板)となるが、素子構造を形成するには異種基板1、第1の窒化物半導体2及び保護膜(以下、異種基板等とする場合がある。)を予め除去してから行う場合と、異種基板等を残して行う場合がある。このため前者の異種基板等を除去する場合の第2の窒化物半導体5の膜厚は、 $70\mu\text{m}$ 以上、好ましくは $100\mu\text{m}$ 以上、より好ましくは $500\mu\text{m}$ である。この範囲であると異種基板及び保護膜等を研磨除去しても、第2の窒化物半導体5が割れにくくハンドリングが容易となり好ましい。

【0031】また後者の異種基板等を残して行う場合の第2の窒化物半導体5の膜厚は、特に限定されないが、 $100\mu\text{m}$ 以下、好ましくは $50\mu\text{m}$ 以下、より好ましくは $20\mu\text{m}$ 以下である。この範囲であると異種基板と窒化物半導体の熱膨張係数差によるウエハの反りが防止でき、更に素子基板となる第2の窒化物半導体5の上に素子構造となる窒化物半導体を良好に成長させることができる。

【0032】本発明の窒化物半導体の成長方法において、第1の窒化物半導体2、及び第2の窒化物半導体5を成長させる方法としては、特に限定されないが、MOVPE(有機金属気相成長法)、HVPE(ハライド気相成長法)、MBE(分子線エピタキシー法)、MOCVD(有機金属化学気相成長法)等、窒化物半導体を成長させるのに知られている全ての方法を適用できる。好ましい成長方法としては、膜厚が $100\mu\text{m}$ 以下ではMOCVD法を用いると成長速度をコントロールし易い。また膜厚が $100\mu\text{m}$ 以下ではHVPEでは成長速度が速くてコントロールが難しい。

【0033】また第1の工程における前記異種基板となる材料の主面をオフアングルさせた基板、さらにステップ状にオフアングルさせた基板を用いることもできる。更に好ましい異種基板としては、(0001)面[C面]を主面とするサファイア、(112-0)面[A面]を主面とするサファイア、又は(111)面を主面とするスピネルである。ここで異種基板が、(0001)面[C面]を主面とするサファイアであるとき、前記保護膜がそのサファイアの(112-0)面[A面]に対して垂直なストライプ形状を有していること[窒化物半導体の(101-0)[M面]に平行方向にストライプを形成すること]が好ましく、また(112-0)面[A面]を主

面とするサファイアであるとき、前記保護膜はそのサファイアの(11-02)面[R面]に対して垂直なストライプ形状を有していることが好ましく、また(111)面を主面とするスピネルであるとき、前記保護膜はそのスピネルの(110)面に対して垂直なストライプ形状を有していることが好ましい。ここでは、保護膜がストライプ形状の場合について記載したが、本発明においてサファイアのA面及びR面、スピネルの(110)面に窒化物半導体が横方向に成長し易いので、これらの面に第1の窒化物半導体の端面が形成されるように第1の窒化物半導体2に段差を形成するために保護膜の形成を考慮することが好ましい。

【0034】本発明に用いられる異種基板について図を用いて更に詳細に説明する。図6は窒化物半導体の結晶構造を示すユニットセル図である。窒化物半導体は正確には菱面体構造であるが、このように六方晶系で近似できる。まず本発明の方法において、C面を主面とするサファイアを用い、保護膜はサファイアA面に対して垂直なストライプ形状とする場合について説明する。例えば、図7は主面側のサファイア基板の平面図である。この図はサファイアC面を主面とし、オリエンテーションフラット(オリフラ)面をA面としている。この図に示すように保護膜のストライプをA面に対して垂直方向で、互いに平行なストライプを形成する。図7に示すように、サファイアC面上に窒化物半導体を選択成長させた場合、窒化物半導体は面内ではA面に対して平行な方向で成長しやすく、垂直な方向では成長しにくい傾向にある。従ってA面に対して垂直な方向でストライプを設けると、ストライプとストライプの間の窒化物半導体がつながって成長しやすくなり、図1～図5に示したような結晶成長が容易に可能となる。

【0035】次に、A面を主面とするサファイア基板を用いた場合、上記C面を主面とする場合と同様に、例えばオリフラ面をR面とすると、R面に対して垂直方向に、互いに平行なストライプを形成することにより、ストライプ幅方向に対して窒化物半導体が成長しやすい傾向にあるため、結晶欠陥の少ない窒化物半導体層を成長させることができる。

【0036】また次に、スピネル($MgAl_2O_4$)に対しても、窒化物半導体の成長は異方性があり、窒化物半導体の成長面を(111)面とし、オリフラ面を(110)面とすると、窒化物半導体は(110)面に対して平行方向に成長しやすい傾向がある。従って、(110)面に対して垂直方向にストライプを形成すると窒化物半導体層と隣接する窒化物半導体同士が保護膜の上部でつながって、結晶欠陥の少ない結晶を成長できる。なおスピネルは四方晶であるため特に図示していない。

【0037】本発明の窒化物半導体素子(以下本発明の素子と言う場合がある。)について以下に説明する。本発明の窒化物半導体素子は、前記した本発明の窒化物半

導体の成長方法により得られる第2の窒化物半導体5

(窒化物半導体基板)上に、素子構造となる少なくともn型及びp型の窒化物半導体が形成されてなるものである。前記本発明の窒化物半導体の成長方法により得られる第2の窒化物半導体5を基板として素子構造を形成する場合、異種基板、第1の窒化物半導体及び保護膜(以下異種基板などとする場合がある)を除去しても、除去しなくてもよい。本発明の素子において、異種基板などを除去する場合、第2の窒化物半導体の膜厚は70 μm 以上であり、また、異種基板などを残す場合、第2の窒化物半導体の膜厚は100 μm 以下である。

【0038】本発明の窒化物半導体素子を構成する窒化物半導体としては、特に限定されず、少なくともn型及びp型の窒化物半導体が積層されていればよい。例えば、素子構造のn側窒化物半導体として超格子構造を有するn側窒化物半導体が形成されていることが好ましい。このように超格子層とすると、素子性能を向上させることができ好ましい。また、n電極を超格子層に形成することが好ましく、n電極との接触抵抗を低下させるために超格子層にn型不純物をドーブしても、超格子層とすると結晶性がよくなる等の点で好ましい。更に、窒化物半導体素子を構成する素子の好ましい層構成として、例えばInを含む量子井戸構造の活性層、バンドギャップエネルギーの異なるクラッド層に挟まれた活性層を有することが発光効率、寿命特性など素子の性能を向上させる点で好ましい。このような層構成を有する素子構造を、本発明の成長方法により得られる結晶欠陥の少ない第1の窒化物半導体上に形成すると素子性能がより向上し好ましい。また、窒化物半導体素子構造を形成するその他の構成は、例えば電極、素子の形状等、いずれのものを組み合わせて用いてもよい。また本発明の窒化物半導体素子の一実施の形態を実施例に示したが、本発明はこれに限定されない。

【0039】本発明の窒化物半導体素子構造となる窒化物半導体を成長させる方法は、特に限定されないがMOVPE(有機金属気相成長法)、HVPE(ハライド気相成長法)、MBE(分子線エピタキシー法)、MOCVD(有機金属化学気相成長法)等、窒化物半導体を成長させるのに知られている全ての方法を適用できる。好ましい成長方法は、MOCVD法であり、結晶をきれいに成長させることができる。しかし、MOCVD法は時間がかかるため、膜厚が厚い場合には時間の短い方法で行うことが好ましい。また使用目的によって種々の窒化物半導体の成長方法を適宜選択し、窒化物半導体の成長を行うことが好ましい。

【0040】

【実施例】以下に本発明の実施例を示すが本発明はこれに限定されない。

【実施例1】実施例1における各工程を図1～図5を用いて示す。また実施例1はMOCVD法を用いて行っ

た。

【0041】異種基板1として、2インチφ、C面を主面とし、オリフラ面をA面とするサファイア基板1を反応容器内にセットし、温度を510℃にして、キャリアガスに水素、原料ガスにアンモニアとTMG（トリメチルガリウム）とを用い、サファイア基板1上にGaNよりなるバッファ層（図示されていない）を約200オングストロームの膜厚で成長させる。

【0042】バッファ層を成長後、TMGのみ止めて、温度を1050℃まで上昇させる。1050℃になったら、原料ガスにTMG、アンモニア、シランガスを用い、Siを $1 \times 10^{13} / \text{cm}^3$ ドープしたGaNよりなる第1の窒化物半導体層2を2μmの膜厚で成長させる。（図1）

【0043】第1の窒化物半導体層2を成長後、ストライプ状のフォトマスクを形成し、スパッタ装置によりストライプ幅15μm、ストライプ間隔3μmのSiO₂よりなる第1の保護膜3を1μmの膜厚で形成する（図2）。続いて、RIE装置により第1の窒化物半導体層2の途中までテーパエッチングして第1の保護膜3の下部に凸部を形成することにより凸部側面に第1の窒化物半導体2を露出させる（図3）。なお、ストライプ方向は、図6に示すように、オリフラ面に対して垂直な方向で形成する。

【0044】第1の窒化物半導体層2に、図3のように凸部を形成した後、凸部を形成した第1の窒化物半導体2の表面にスパッタ装置により第2の保護膜4を形成し【図4（a）】、その後、CF₄とO₂ガスにより、凸部側面の第2の保護膜4をアッシング装置を用いて等方性エッチングすることにより除去して、第1の窒化物半導体2を露出させ、凸部上部の第1の保護膜3上及び凸部底部にそれぞれ第2の保護膜4を形成する【図4（b）】。

【0045】第1の保護膜3及び第2の保護膜4を形成後、反応容器内にセットし、温度を1050℃で、原料ガスにTMG、アンモニア、シランガスを用い、Siを $1 \times 10^{13} / \text{cm}^3$ ドープしたGaNよりなる第2の窒化物半導体層5を30μmの膜厚で成長させる【図5（a）、（b）】。

【0046】第2の窒化物半導体層5を成長後、ウェーハを反応容器から取り出し、SiドープGaNよりなる窒化物半導体基板を得る。

【0047】得られた第2の窒化物半導体5の表面の結晶欠陥密度は、透過型電子顕微鏡観察によると、 1×10^3 個/cm²以下であった。このように実施例1は、第2の窒化物半導体5の表面に現れる結晶欠陥の数を著しく低減することができ、さらには第2の窒化物半導体5の成長と共に縦方向に転位する結晶欠陥がほとんど見られず、第1の保護膜3及び第2の保護膜4が良好に第1の窒化物半導体3の縦方向の成長可能な面を覆っている

ことが確認できた。

【0048】〔実施例2〕以下、図8を元に実施例2について説明する。図8は本発明の成長方法により得られた窒化物半導体層を基板とする一実施の形態のLED素子の構造を示す模式断面図である。

【0049】実施例1で得られたウェーハのサファイア基板1、バッファ層、第1の窒化物半導体層2、第1の保護膜3、第2の保護膜4を研磨、除去し、第2の窒化物半導体層5の表面を露出させ、第2の窒化物半導体層5のみにする。但し、実施例1において、第2の窒化物半導体5を成長させる際に膜厚を200μmとして行った。

【0050】次に、第2の窒化物半導体層5（SiドープGaN）を主面とするウェーハをMOVPE装置の反応容器内にセットし、1050℃でこの第2の窒化物半導体層5の上にSiを $1 \times 10^{13} / \text{cm}^3$ ドープしたGaNよりなるバッファ層31を成長させる。このバッファ層31は通常900℃以上の高温で成長させる窒化物半導体単結晶層であり、先の基板との格子不整合を緩和するための低温で成長させるバッファ層とは区別される。

【0051】さらに、バッファ層31の上に膜厚20オングストローム、単一量子井戸構造のIn_{0.4}Ga_{0.6}Nよりなる活性層32、膜厚0.3μmのMgを $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドープAl_{0.2}Ga_{0.8}Nよりなるp側クラッド層33、膜厚0.5μmのMgを $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドープGaNよりなるp側コンタクト層34を順に成長させる。

【0052】素子構造となるバッファ層31～p側コンタクト層34成長後、ウェーハを反応容器から取出し、窒素雰囲気中で600℃アニーリングして、p側クラッド層33、p側コンタクト層34を低抵抗にする。その後、p側コンタクト層34側からエッチングを行い、第2の窒化物半導体層5の表面を露出させる。このように、活性層から下の窒化物半導体層をエッチングにより露出させ、チップ切断時の「切りしろ」を設けることにより、切断時にp-n接合面に衝撃を与えにくくなるため、歩留も向上し、信頼性の高い素子が得られる。

【0053】エッチング後、p側コンタクト層34の表面のほぼ全面にNi/Auよりなる透光性のp電極35を200オングストロームの膜厚で形成し、そのp電極35の上に、ボンディング用のパッド電極36を0.5μmの膜厚で形成する。p電極35形成後のチップの平面図（パッド電極36側から見た図）を図9に示す。

【0054】p側電極形成後、第2の窒化物半導体層5の素子構造が形成されていない表面全面に、n電極37を0.5μmの膜厚で形成する。

【0055】その後、n電極側からスクライプし、第2の窒化物半導体層5のM面（101-0）と、そのM面に垂直な面で劈開し、300μm角のLEDチップを得る。このLEDは20mAにおいて、520nmの緑色

発光を示し、出力は従来のサファイア基板上に窒化物半導体素子構造を成長されたものに比較して1.5倍以上、静電耐圧も2倍以上と、非常に優れた特性を示した。

【0056】[実施例3]以下、図10を元に実施例3について説明する。図10は本発明の成長方法により得られた窒化物半導体層を基板とする一実施の形態のレーザ素子の構造を示す模式断面図である。

【0057】実施例1で得られたウェーハのサファイア基板1、バッファ層、第1の窒化物半導体2、第1の保護膜3、第2の保護膜4を研磨、除去し、第2の窒化物半導体層5の表面を露出させ、第2の窒化物半導体層5のみにする。但し、実施例1において、第2の窒化物半導体5を成長させる際に膜厚を200 μ mとして行った。

【0058】次に、第2の窒化物半導体層5(SiドープGaN)を主面とするウェーハをMOVPE装置の反応容器内にセットし、この第2の窒化物半導体層5の上に下記各層を形成する。

【0059】(n側クラッド層43)次に、Siを $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ ドープしたn型Al_{0.2}Ga_{0.8}Nよりなる第1の層、20オングストロームと、アンドープ(undoped)のGaNよりなる第2の層、20オングストロームとを交互に300層積層してなる総膜厚1.2 μ mの超格子構造とする。n側クラッド層43はキャリア閉じ込め層、及び光閉じ込め層として作用し、Alを含む窒化物半導体、好ましくはAlGaNを含む超格子層とすることが望ましく、超格子層全体の膜厚を100オングストローム以上、2 μ m以下、さらに好ましくは500オングストローム以上、2 μ m以下で成長させることが望ましい。超格子層にするとクラックのない結晶性の良いキャリア閉じ込め層が形成できる。

【0060】(n側光ガイド層44)続いて、Siを $1 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ ドープしたn型GaNよりなるn側光ガイド層44を0.1 μ mの膜厚で成長させる。このn側光ガイド層44は、活性層の光ガイド層として作用し、GaN、InGaNを成長させることが望ましく、通常100オングストローム～5 μ m、さらに好ましくは200オングストローム～1 μ mの膜厚で成長させることが望ましい。このn側光ガイド層44は通常はSi、Ge等のn型不純物をドープしてn型の導電型とするが、特にアンドープにすることもできる。超格子とする場合には第1の層及び第2の層の少なくとも一方にn型不純物をドープしてもよいし、またアンドープでも良い。

【0061】(活性層45)次に、Siを $1 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ ドープのIn_{0.2}Ga_{0.8}Nよりなる井戸層、25オングストロームと、Siを $1 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ ドープのIn_{0.05}Ga_{0.95}Nよりなる障壁層、50オングストロームを交互に積層してなる総膜厚175オングストロームの多重量子井戸構造(MQW)の活性層45を成長させ

る。

【0062】(p側キャップ層46)次に、バンドギャップエネルギーがp側光ガイド層47よりも大きく、かつ活性層45よりも大きい、Mgを $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ ドープしたp型Al_{0.3}Ga_{0.7}Nよりなるp側キャップ層46を300オングストロームの膜厚で成長させる。このp側キャップ層46はp型としたが、膜厚が薄いため、n型不純物をドープしてキャリアが補償されたi型、若しくはアンドープとしても良く、最も好ましくはp型不純物をドープした層とする。p側キャップ層17の膜厚は0.1 μ m以下、さらに好ましくは500オングストローム以下、最も好ましくは300オングストローム以下に調整する。0.1 μ mより厚い膜厚で成長させると、p型キャップ層46中にクラックが入りやすくなり、結晶性の良い窒化物半導体層が成長しにくいからである。Alの組成比が大きいAlGaN程薄く形成するとLD素子は発振しやすくなる。例えば、 γ 値が0.2以上のAl_{1-x}Ga_xNであれば500オングストローム以下に調整することが望ましい。p側キャップ層46の膜厚の下限は特に限定しないが、10オングストローム以上の膜厚で形成することが望ましい。

【0063】(p側光ガイド層47)次に、バンドギャップエネルギーがp側キャップ層46より小さい、Mgを $1 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ ドープしたp型GaNよりなるp側光ガイド層47を0.1 μ mの膜厚で成長させる。この層は、活性層の光ガイド層として作用し、n側光ガイド層44と同じくGaN、InGaNで成長させることが望ましい。また、この層はp側クラッド層48を成長させる際のバッファ層としても作用し、100オングストローム～5 μ m、さらに好ましくは200オングストローム～1 μ mの膜厚で成長させることにより、好ましい光ガイド層として作用する。このp側光ガイド層は通常はMg等のp型不純物をドープしてp型の導電型とするが、特に不純物をドープしなくても良い。なお、このp型光ガイド層を超格子層とすることもできる。超格子層とする場合には第1の層及び第2の層の少なくとも一方にp型不純物をドープしてもよいし、またアンドープでも良い。

【0064】(p側クラッド層48)次に、Mgを $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ ドープしたp型Al_{0.2}Ga_{0.8}Nよりなる第1の層、20オングストロームと、Mgを $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ ドープしたp型GaNよりなる第2の層、20オングストロームとを交互に積層してなる総膜厚0.8 μ mの超格子層よりなるp側クラッド層48を形成する。この層はn側クラッド層43と同じくキャリア閉じ込め層として作用し、超格子構造とすることによりp型層側の抵抗率を低下させるための層として作用する。このp側クラッド層48の膜厚も特に限定しないが、100オングストローム以上、2 μ m以下、さらに好ましくは500オングストローム以上、1 μ m以下で成長させるこ

とが望ましい。なお本実施例では超格子層をn側クラッド層側にも設けたが、n側クラッド層側よりもp側層側に超格子層を設けた方が、p層の抵抗値が減少する傾向にあるため、V_fを低下させる上で好ましい。

【0065】量子構造の井戸層を有する活性層45を有するダブルヘテロ構造の窒化物半導体素子の場合、活性層45に接して、活性層45よりもバンドギャップエネルギーが大きい膜厚0.1μm以下のAlを含む窒化物半導体よりなるキャップ層46を設け、そのキャップ層46よりも活性層から離れた位置に、キャップ層46よりもバンドギャップエネルギーが小さいp側光ガイド層47を設け、そのp側光ガイド層47よりも活性層から離れた位置に、p側光ガイド層47よりもバンドギャップが大きいAlを含む窒化物半導体を含む超格子層よりなるp側クラッド層48を設けることは非常に好ましい。しかもp側キャップ層46のバンドギャップエネルギーが大きくしてある、n層から注入された電子がこのキャップ層46で阻止されるため、電子が活性層をオーバーフローしないために、素子のリーク電流が少なくなる。

【0066】(p側コンタクト層49)最後に、Mgを $2 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドープしたp型GaNよりなるp側コンタクト層49を150オングストロームの膜厚で成長させる。p側コンタクト層は500オングストローム以下、さらに好ましくは400オングストローム以下、200オングストローム以上に膜厚を調整する。

【0067】反応終了後、反応容器内において、ウェーハを窒素雰囲気中、700℃でアニーリングを行い、p型層をさらに低抵抗化する。アニーリング後、ウェーハを反応容器から取り出し、図10に示すように、RIE装置により最上層のp型コンタクト層49と、p型クラッド層48とをエッチングして、4μmのストライプ幅を有するリッジ形状とし、リッジ表面の全面にNi/Auよりなるp電極51を形成する。次に、図10に示すようにp電極51を除くp側クラッド層48、コンタクト層49の表面にSiO₂よりなる絶縁膜50を形成し、この絶縁膜50を介してp電極51と電氣的に接続したpパッド電極52を形成する。

【0068】p側電極形成後、第2の窒化物半導体層5の素子構造が形成されていない表面全面に、Ti/Alよりなるn電極53を0.5μmの膜厚で形成し、その上にヒートシンクとのメタライゼーション用にAu/Snよりなる薄膜を形成する。

【0069】その後、n電極側53からスクライブし、第2の窒化物半導体層5のM面(11-00、図6の六角柱の側面に相当する面)で第2の窒化物半導体層5を劈開し、共振面を作製する。共振面の両方あるいはどちらか一方にSiO₂とTiO₂よりなる誘電体多層膜を形成し、最後にp電極に平行な方向で、バーを切断してレーザーチップとした。次にチップをフェースアップ(基板

とヒートシンクとが対向した状態)でヒートシンクに設置し、pパッド電極52をワイヤーボンディングして、室温でレーザ発振を試みたところ、室温において、閾値電流密度 2.0 kA/cm^2 、閾値電圧4.0Vで、発振波長405nmの連続発振が確認され、1000時間以上の寿命を示した。

【0070】[実施例4]図11は本発明の成長方法により得られた窒化物半導体層を基板とする一実施例の形態のLED素子の構造を示す模式断面図であり、活性層32から上の素子構造としては、実施例2のLED素子と同様の構造を有する。このLED素子は実施例1で得られた第2の窒化物半導体層5の上に、下記の超格子層を有するn側クラッド層51を成長させる。また、実施例4においては、サファイア基板1、バッファ層、保護膜を除去せず行った。実施例4で用いる第2の窒化物半導体5は、実施例1において第2の窒化物半導体5を成長させる際にSiをドープせずに成長させた。

(n側クラッド層51) Siを $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ ドープしたn型Al_{0.2}Ga_{0.8}Nよりなる第1の層、20オングストロームと、アンドープ(undoped)のGaNよりなる第2の層、20オングストロームとを交互に100層積層してなる総膜厚0.4μmの超格子構造とする。超格子層にするとクラックのない結晶性の良いキャリア閉じ込めのクラッド層が形成できる。

【0071】次に、膜厚20オングストロームの単一量子井戸構造のIn_{0.4}Ga_{0.6}Nよりなる活性層32、膜厚0.3μmのMgを 1×10^{20} ドープAl_{0.2}Ga_{0.8}Nよりなるp側クラッド層33、膜厚0.5μmのMgを 1×10^{20} ドープGaNよりなるp側コンタクト層34が順に積層された構造を有する。そしてp層側からエッチングを行いクラッド層51の表面を露出させてn電極37を形成し、一方p側コンタクト層のほぼ全面には透光性のp電極35と、そのp電極35の上に、ボンディング用のパッド電極36を形成し、図11に示すような同一面側からn電極37とp電極35とを設けた構造とする。最後にサファイア基板の厚さを50μm程度まで研磨して薄くした後、研磨面側をスクライブして350μm角の素子とする。

【0072】得られたLED素子は実施例2のLED素子に比較して、出力は約1.5倍、静電耐圧も約1.5倍に向上した。

【0073】

【発明の効果】本発明の窒化物半導体の成長方法により、結晶欠陥の非常に少ない結晶性の良好な窒化物半導体を得ることができる。更に本発明は、結晶性の良好な窒化物半導体を基板としてこの上に素子構造を構成する窒化物半導体を成長させると、ライフ時間の伸びた、逆耐圧が上昇し、寿命特性の良好な窒化物半導体素子を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

19

【図1】本発明の方法の各工程において得られる窒化物半導体ウェーハの構造を示す模式的断面図である。

【図2】本発明の方法の各工程において得られる窒化物半導体ウェーハの構造を示す模式的断面図である。

【図3】本発明の方法の各工程において得られる窒化物半導体ウェーハの構造を示す模式的断面図である。

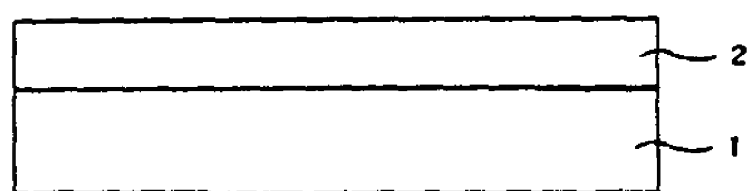
【図4】本発明の方法の各工程において得られる窒化物半導体ウェーハの構造を示す模式的断面図である。

【図5】本発明の方法の各工程において得られる窒化物半導体ウェーハの構造を示す模式的断面図である。

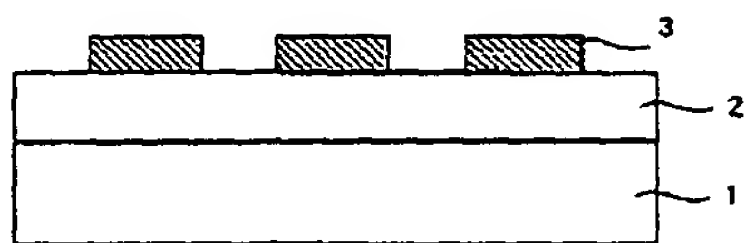
【図6】サファイアの面方位を示すユニットセル図である。

【図7】保護膜のストライプ方向を説明するための基板主面側の平面図である。

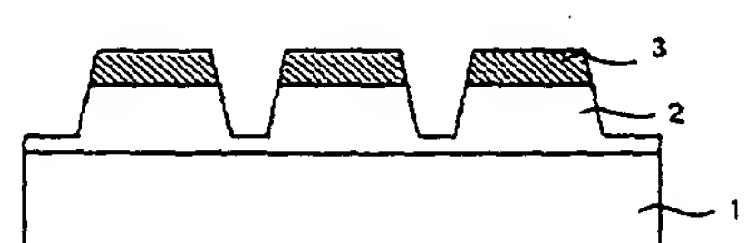
【図1】



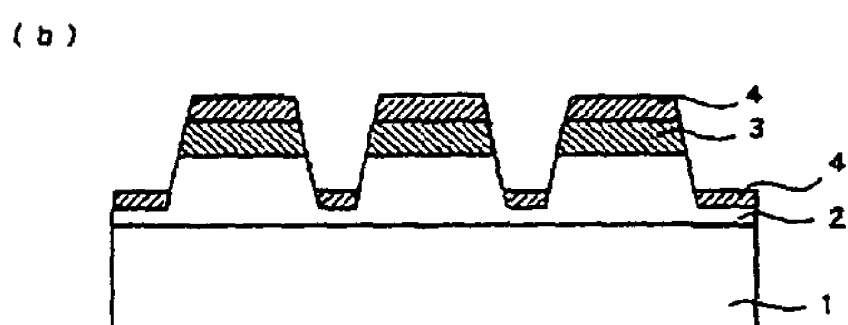
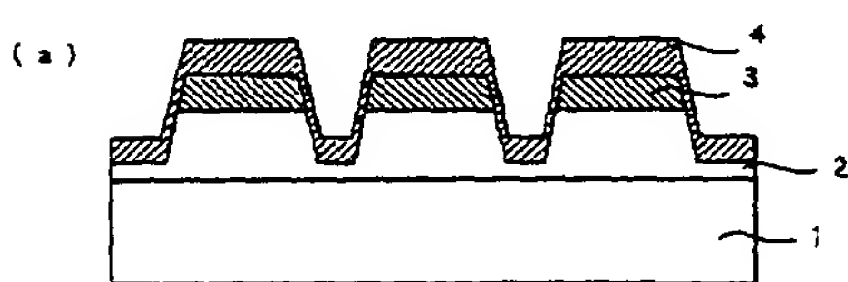
【図2】



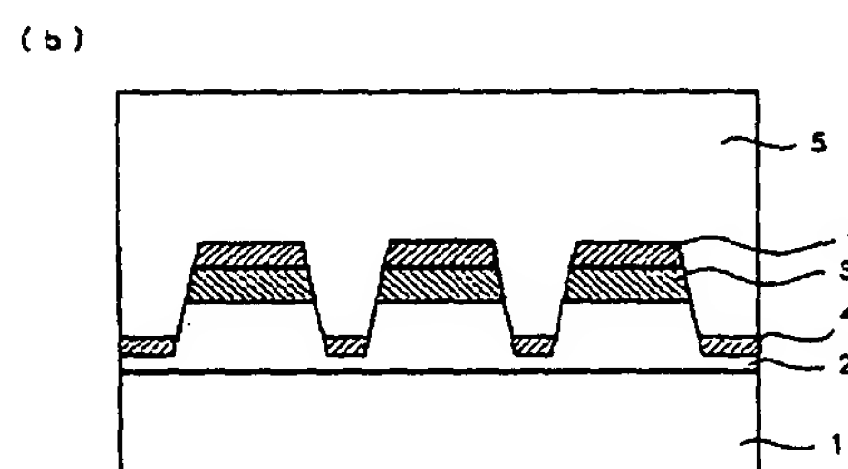
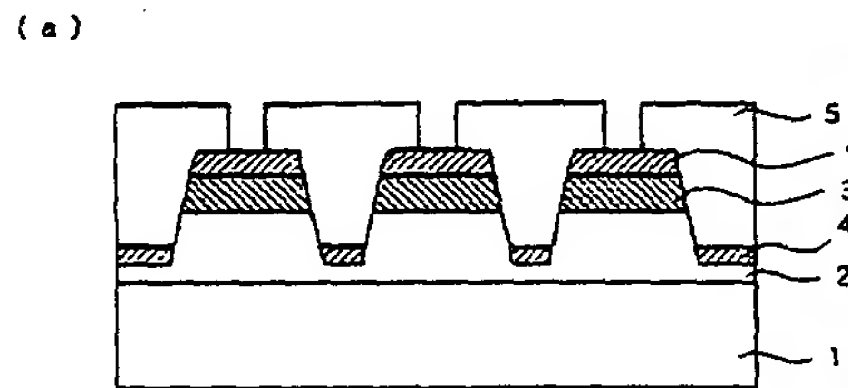
【図3】



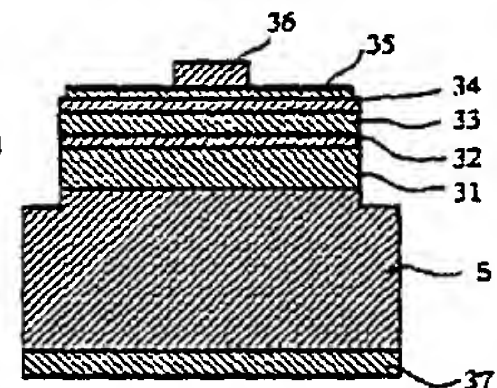
【図4】



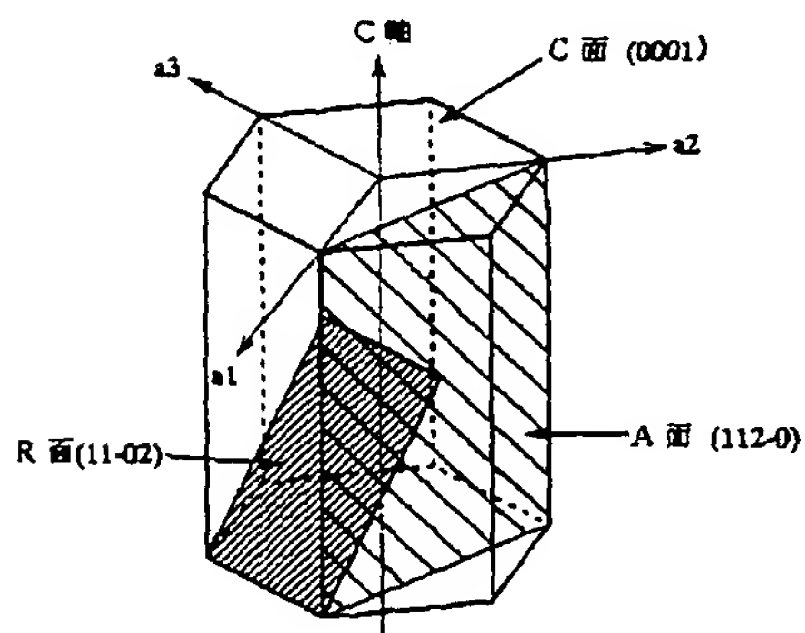
【図5】



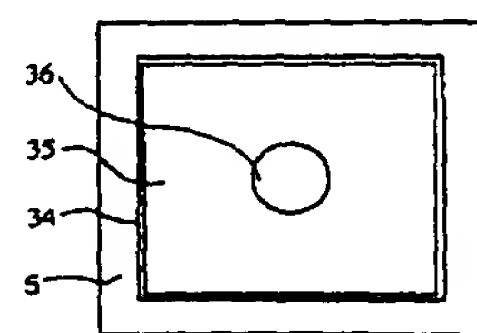
【図8】



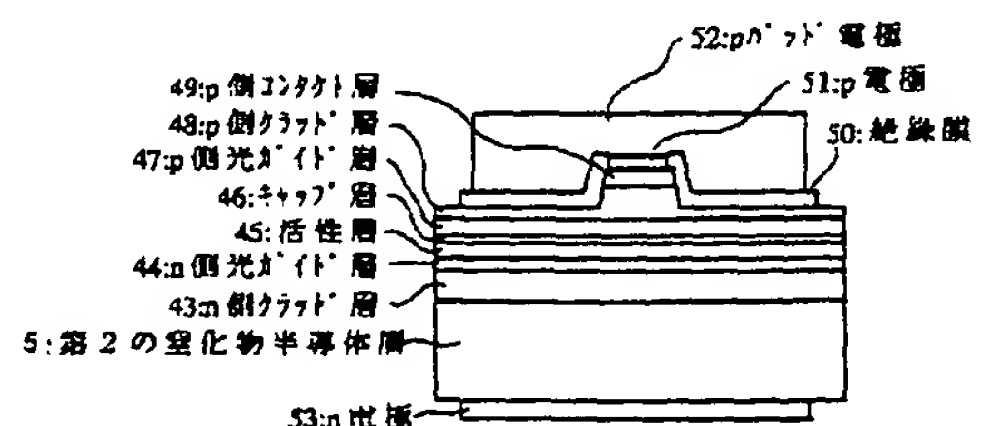
【図6】



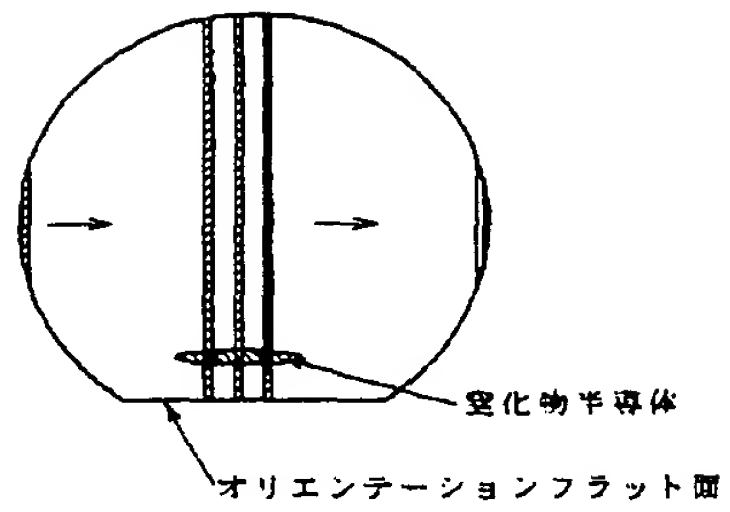
【図9】



【図10】



【図7】



【図11】

